

Радиооптика

Сетевое научное издание
МГТУ им. Н.Э. Баумана

<http://radiooptics.ru>

Ссылка на статью:

// Радиооптика. МГТУ им. Н.Э. Баумана.
Электрон. журн. 2017. № 03. С. 14–28.

DOI: **10.24108/rdopt.0317.0000100**

Представлена в редакцию: 13.04.2017

Исправлена: 27.04.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана

УДК 621.396.969, 628.517.4

Информационный критерий виброустойчивости радиоэлектронной аппаратуры

Ефремов А.К.^{1,*}, Соболева Н.С.¹

^{*}efrak@mail.ru

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В качестве количественного критерия виброустойчивости радиосистемы предлагается использовать относительную пропускную способность канала, которая зависит от спектральной плотности мощности сигнала и шума, а также ширины полосы пропускания системы. Выигрыш по пропускной способности системы достигается за счет трансформации внешнего вибровозмущения, рассматриваемого как полосовой белый шум, при прохождении через систему. Последняя приближенно представлена как колебательная система с одной степенью свободы. Учитывается ограничение на отношение сигнал/шум. Получены аналитические выражения для максимального количества информации от подвижного источника применительно к РЛС пассивного и активного типов. Предлагаемая методика может быть использована для качественного сравнения различных конструкций с позиции виброустойчивости.

Ключевые слова: радиоэлектронная аппаратура; виброустойчивость; пропускная способность; отношение сигнал/шум; трансформация вибрации; количество информации; подвижный объект локации

Введение

К бортовой радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) предъявляются весьма жесткие требования, в число которых входят надежное функционирование в условиях воздействия внешних помех и внутренних шумов, способность обрабатывать максимальное количество информации в ограниченный промежуток времени.

Воздействие механических нагрузок (вибрации и ударов) на РЭА вызывает отклонение от штатного режима работы аппаратуры, порождая появление шумовой составляющей (виброшум) в структуре выходного сигнала. В связи с этим возникает задача защиты аппаратуры от внешних динамических нагрузок, т.е. обеспечения ее вибро- и удароустойчивости [1, 2]. Характер спектра мощности виброшума оказывает существенное влияние на пропускную способность радиоканала и, соответственно, на количество информации, воспринимаемой от объекта локации. Если последний подвижен, время существования сиг-

нала зависит от относительных скоростей носителя и объекта локации, а также их взаимного положения.

Предлагаемая работа – попытка оценки виброустойчивости РЭА на основе нетрадиционного подхода, а именно с позиции теории информации как обобщенного представления объекта исследования, а не только техники связи (передачи сообщений). Теория информации, возникновение которой связывают с работами К. Шеннона [3, 4], сначала имела характер абстрактной научной дисциплины, но затем приобрела прикладную направленность. Профессор И.М. Коган одним из первых показал, что теория информации применима при решении инженерных задач и обосновании практически ценных рекомендаций [5]¹. В частности, он использовал ее при разработке теоретических основ систем ближней радиолокации [6]. Таким образом, *прикладную теорию информации* можно трактовать как средство решения специфичных для других приложений задач. Характеристики существенно разнородных технических объектов удастся выразить через такие универсальные понятия, как энтропия, количество информации, пропускная способность и т.д. Добавим, что функционирование широкого класса технических систем предполагает *получение и обработку информации* и принятие на этой основе *решения*, необходимого для исполнения того или иного *действия*..

В качестве количественной меры степени влияния виброшумов на функционирование радиосистемы предлагается использовать относительную пропускную способность канала, которая определяется спектральной плотностью мощности сигнала и шума, а также шириной полосы пропускания системы. При этом внешнее вибрационное воздействие трактуется как полосовой белый шум. Увеличение указанного показателя достигается путем перераспределения спектральной плотности мощности вибрационного воздействия. Представлены условия, при выполнении которых обеспечивается выигрыш по пропускной способности.

Применение предлагаемой методики проиллюстрировано на примере приближенного представления радиоканала как электромеханического преобразователя в виде линейной колебательной системы с одной степенью свободы. Показано, что качество преобразования можно обеспечить за счет целенаправленного варьирования (трансформации) спектральной плотности мощности вибрационного процесса и выбора основных параметров системы изоляции – характерной частоты собственных колебаний и коэффициента демпфирования. Таким образом, в конечном итоге возникает возможность в конечном итоге повысить как помехоустойчивость, так и эффективность – показатели, входящие в число тактических характеристик системы [5, 7].

Указанный подход использован при оценке наибольшего количества информации, воспринимаемой РЛС от подвижного источника. Представлены аналитические зависимости, которые могут найти применение на практике при исследовании РЛС как пассивного, так и активного типа.

¹ И.М. Коган впервые поставил и читал курс лекций по дисциплине «Прикладная теория информации» в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Влияние тепловых шумов в работе не учитывается, поскольку их уровень в пределах полосы пропускания системы несоизмеримо меньше уровня виброшумов.

1. Основные соотношения

Исходной мерой количества информации послужило выражение («мера Хартли») $I = \log n = -\log P$, где n – число дискретных событий, имеющих равную вероятность P .

При неравновероятных событиях $I = -\sum_{i=1}^n P_i \log P_i$. Получение информации означает уменьшение неопределенности (информационной энтропии) H . При непрерывном законе распределения $p(x)$ энтропия

$$H(X) = -\int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log p(x) dx$$

Противоречивость содержания информации проявляется в том, что количество информации, заключенное в единичном событии, выражается через вероятности массовых событий. Это противоречие снимается путем применения так называемого «алгоритмического подхода» [5].

Повышению помехоустойчивости и эффективности радиоканала, входящих, как отмечено выше, в число тактико-технических характеристик системы, и уменьшению времени обработки сигнала способствует увеличение информационной пропускной способности радиоканала

$$C = I/T,$$

где I – количество информации; T – время существования (обработки) сигнала. Неопределенность ситуации полностью раскрывается, когда $I = H$. Отсюда видно, что повышение пропускной способности канала требует уменьшения времени обработки сигнала (при постоянной энтропии) или увеличения объема обрабатываемой информации при постоянстве T .

В общем случае пропускная способность определяется по известной формуле К. Шеннона (в теории информации логарифмы вычисляются при основании, равном 2)

$$C = F \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_{ш} + P_{шв}} \right) \approx F \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_{ш}} \right), \quad (1)$$

где F – полоса пропускания системы; P_c и $P_{ш}$ – средние мощности (дисперсии) сигнала и шума, создаваемого внешним источником; $P_{шв}$ – мощность внутренних шумов. Последней составляющей (например, тепловым шумом) можно пренебречь, поскольку она в пределах полосы пропускания системы несопоставима по уровню с виброшумом.

Если рассматривать вибрацию как стационарный случайный процесс, то величина пропускной способности будет зависеть от распределения спектральной плотности мощ-

ности виброшума $S_{\text{ш}}(\omega)$ по частоте, т.е. от конкретного механизма трансформации (преобразования) входного вибрационного воздействия [7]

$$P_{\text{ш}} = 2 \int_0^{\Omega} S_{\text{ш}}(\omega) d\omega \quad (2)$$

где $\Omega = 2\pi F$.

Количество информации, воспринимаемое приемником РЛС, может быть выражено через пропускную способность радиосистемы C :

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} C dt, \quad (3)$$

где $t_2 - t_1$ – время существования сигнала на входе системы.

2. Трансформация вибрации в РЭА

Согласно результатам ряда экспериментов, воздействие виброускорения на радиоканал проявляется в том, что возникает паразитная амплитудная модуляция выходного сигнала, причем коэффициент глубины модуляции практически пропорционален амплитуде внешнего воздействия. Следовательно, конструкцию радиоканала можно в первом приближении рассматривать как некий линейный электромеханический преобразователь, трансформирующий внешнее вибрационное воздействие в соответствующее изменение структуры выходного сигнала. Поэтому в качестве оператора, характеризующего динамические свойства конструкции, можно использовать комплексный коэффициент передачи, представив его в виде

$$W(j\omega) = W_1(j\omega) \cdot W_2(j\omega) = K(\omega) e^{i\theta(\omega)},$$

где $K(\omega) = |W(j\omega)|$ и $\theta(\omega) = \arg[W(j\omega)]$ – амплитудная и фазовая частотные характеристики системы, соответственно. Коэффициент $W_1(j\omega)$ характеризует трансформацию вибрационных перегрузок от точек крепления системы на объекте к исследуемому блоку; коэффициент $W_2(j\omega)$ определяется алгоритмом радиотехнических преобразований в блоке. Характер трансформации, количественно отображаемый через $W(j\omega)$, можно варьировать путем целенаправленного изменения конструктивных параметров системы и способов крепления ее элементов, а также с помощью специальной системы изоляции [2].

Пусть внешний вибрационный процесс характеризуется спектральной плотностью S_0 , постоянной в пределах $0 \leq f \leq F$ («полосовой белый шум»). Тогда спектральную плотность виброшума на выходе системы можно записать в виде [8]

$$S_{\text{ш}}(\omega) = S_0 K^2(\omega) = S_0 K^2(0) [\bar{K}(\omega)]^2 = S_{\text{ш}0} [\bar{K}(\omega)]^2,$$

где $\bar{K}(\omega) = K(\omega)/K(0)$ – нормированная амплитудная частотная характеристика; $S_{\text{ш}0} = S_0 K^2(0)$ – «статическая» спектральная плотность.

Таким образом, согласно (2),

$$P_{ш} = 2 \int_0^{\Omega} S_{ш}(\omega) d\omega = 2 S_{ш0} \int_0^{\Omega} [\bar{K}(\omega)]^2 d\omega. \quad (4)$$

Конструкции реальных радиосистем сложны и характеризуются спектром частот собственных колебаний, однако, выделяя из этого спектра частоту наиболее представительной составляющей f_0 , будем считать, что конструкция радиоканала представляет собой колебательную систему с одной степенью свободы, нормированная амплитудная частотная характеристика которой имеет вид [9]

$$\bar{K} = \frac{1}{\sqrt{(1-x^2)^2 + \varepsilon^2 x^2}} = \frac{1}{\sqrt{x^4 - (2-\varepsilon^2)x^2 + 1}}, \quad (5)$$

Здесь $x = \omega/\omega_0 = f/f_0$; ε – коэффициент демпфирования.

3. Выигрыш по пропускной способности как критерий виброустойчивости РЭА

В качестве информационного критерия виброустойчивости целесообразно ввести некоторый показатель как количественную меру состояния системы при отсутствии и наличии трансформации виброшума, соответственно. Учитывая (2), (4) и (5), можно записать

$$P_{ш} = 4\pi S_{ш0} f_0 I(N). \quad (6)$$

где $N = F/f_0$ – относительная полоса пропускания;

$$\begin{aligned} I(N) &= \int_0^N [\bar{K}(x)]^2 dx = \int_0^N \frac{dx}{x^4 - (2-\varepsilon^2)x^2 + 1} \\ &= \frac{1}{8\beta} \ln \frac{N^2 + 2\beta N + 1}{N^2 - 2\beta N + 1} + \frac{1}{2\varepsilon} \left(\frac{\pi}{2} + \arctg \frac{N^2 - 1}{N\varepsilon} \right), \end{aligned} \quad (7)$$

где $\beta = \sqrt{1-\varepsilon^2}/4$ [10].

Имея в виду (1), получаем следующее выражение:

$$C = F \log_2 \left[1 + \frac{P_c}{4\pi S_{ш0} f_0 I(N)} \right] = F \log_2 (1 + a\mu), \quad (8)$$

где $a = P_c/P_{ш0}$ – отношение сигнал/шум (ОСШ); $P_{ш0} = 4\pi S_{ш0} F$ – «статическая» средняя мощность виброшума; $\mu = N/I(N)$.

Согласно (7), при $\bar{K}(\omega)=1$ в пределах всей полосы пропускания, т.е. при отсутствии трансформации входного воздействия, $I(N)=N$ и, следовательно, $\mu=1$. Пропускная способность при этом оказывается равной

$$C_0 = F \log_2 (1 + a) = F \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{4\pi S_{ш0} F} \right), \quad (9)$$

Раскрывая неопределенность при неограниченном расширении полосы пропускания, получим

$$\lim_{F \rightarrow \infty} C_0 = \frac{P_c}{4\pi S_{u0} \ln 2}.$$

Разделив почленно (8) на (9), получим выражение для относительной пропускной способности, количественно характеризующей эффект трансформации внешнего вибрационного воздействия, т.е. перераспределения спектральной плотности мощности виброшума:

$$\eta = \frac{C}{C_0} = \frac{\log_2[1+a\mu]}{\log_2(1+a)} = \frac{\ln[1+a\mu]}{\ln(1+a)}. \quad (10)$$

В качестве количественного критерия виброустойчивости радиоканала будем использовать выигрыш по пропускной способности, т.е. выполнение условия $\eta > 1$, что будет иметь место при $\mu > 1$, независимо от значения ОСШ. Если оно весьма мало,

$$\lim_{a \rightarrow 0} \eta = \mu.$$

Можно показать, что $\lim_{N \rightarrow 0} \mu = 1$, т.е. $\lim_{N \rightarrow 0} \eta = 1$. Если полоса пропускания системы во много раз превышает собственную частоту f_0 (практически при $N > 2,5$), интеграл $I(N)$ можно принять равным его асимптотическому значению, которое определяется из выражения (7)

$$\lim_{N \rightarrow \infty} I(N) = \frac{\pi}{2\varepsilon},$$

и в этом случае $\mu \approx (2\varepsilon/\pi)N$.

Таким образом, область семейства кривых $\eta(\mu)$, в пределах которой $\eta \geq 1$, будет ограничена двумя предельными прямыми (рис. 1): $\eta = \mu$ (при $a \rightarrow 0$) и $\eta = 1$ (при $a \rightarrow \infty$).

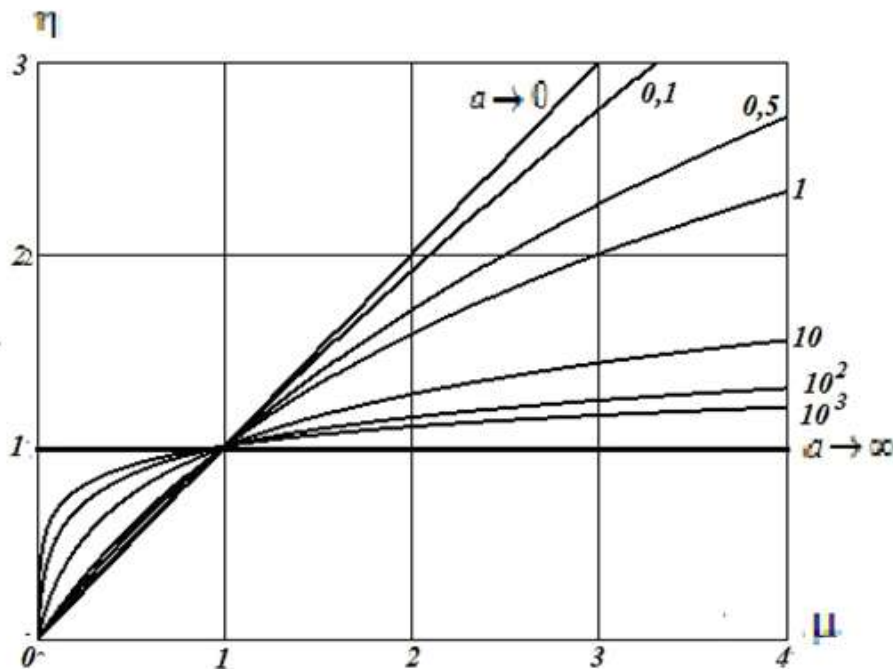


Рис. 1. Зависимость $\eta(\mu)$

На рис. 2 представлено семейство кривых $\mu(N)$ при различных значениях коэффициента демпфирования, с шагом 0,1 вплоть до критического. Минимальное приемлемое с точки зрения виброустойчивости значение относительной полосы пропускания находится из условия $\eta_0(N_{\min})=1$. Видно, что значение N_{\min} увеличивается по мере уменьшения коэффициента демпфирования. Это значение может быть использовано для выбора соответствующих параметров системы изоляции радиоканала от внешнего вибрационного возмущения (в рамках принятых допущений).

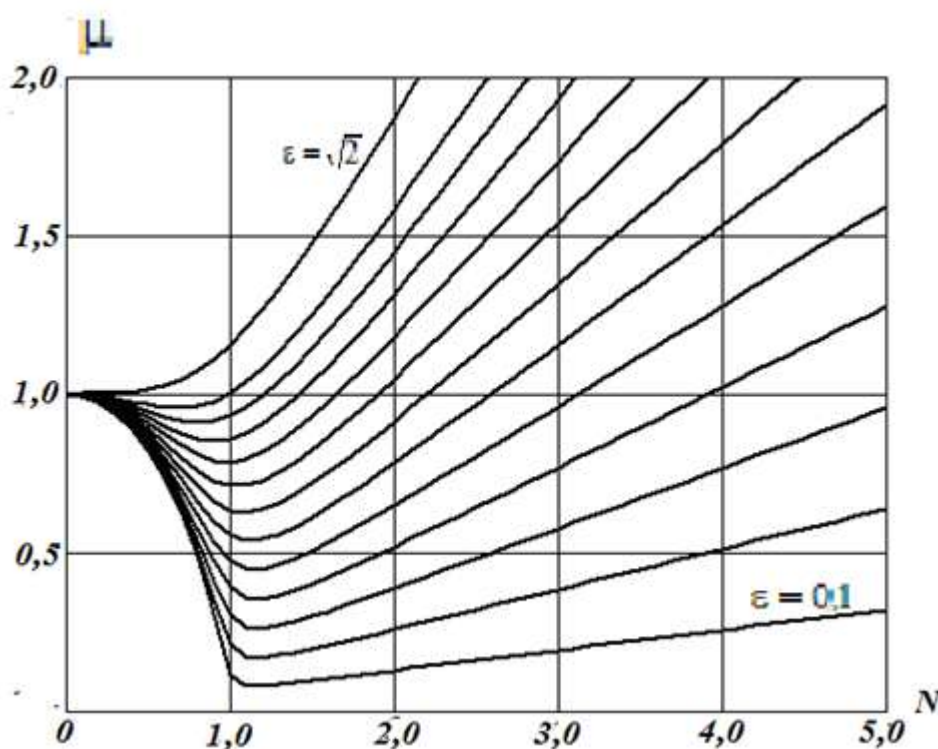


Рис. 2. Зависимость $\mu(N)$ при различных значениях коэффициента демпфирования

4. Наибольшее количество информации от подвижного источника

Обратившись к выражению (3), отметим, что для определения Q , очевидно, нужно ввести зависимость средней мощности сигнала от времени, т.е. в конечном итоге от расстояния между носителем и объектом r . Если считать, что относительное движение носителя и объекта происходит вдоль прямой линии с относительной скоростью v , то $r = r_0 \pm vt$, где r_0 – расстояние, на котором приемник «почувствует» объект (или произойдет его включение по команде). Знак плюс соответствует удаляющемуся объекту, а минус – приближающемуся. Наибольшее количество информации, воспринимаемой от движущегося источника для случая белого флуктуационного шума, оценивалось в работе В.И. Сифорова [11]; его формула приведена ниже.

Введем относительное расстояние между носителем и объектом

$$\bar{r} = \frac{r}{r_0} = 1 \pm \frac{t}{T}; \quad T = \frac{r_0}{v}, \quad (11)$$

т.е. $dt = \pm T d\bar{r}$. Учитывая (8), можно записать

$$Q = \frac{FT}{\ln 2} \int_{\bar{r}_1}^{\bar{r}_2} \ln \left[1 + \frac{P_c(\bar{r})}{P_{\text{ш0}}} \mu \right] d\bar{r}. \quad (12)$$

Пределы интегрирования в выражении (12) зависят от направления относительного движения носителя и объекта, а $P_c(\bar{r})$ – от типа бортовой РЛС. Отметим, что и в данном случае количественный эффект от перераспределения спектра мощности виброшума достигается при $\mu > 1$. Для оценки наибольшего количества информации направление относительного движения носителя и объекта не играет роли, и поэтому ограничимся рассмотрением случая их сближения.

4.1. Пассивная РЛС

Среднюю мощность полезного сигнала на входе приемника пассивной РЛС можно представить в виде [12]

$$P_c^n = \frac{P_2 G_1 S_1}{4\pi r^2} = \frac{P_2 G_1 S_1}{4\pi r_0^2} \cdot \frac{1}{(\bar{r})^2} = \frac{A}{r_0^2 (\bar{r})^2} = \frac{P_{c0}^n}{(\bar{r})^2}; \quad (13)$$

где P_2 – мощность, излучаемая целью; G_1 – коэффициент усиления приемной антенны; S_1 – эффективная площадь приемной антенны; $A = P_2 G_1 S_1 / (4\pi)$; $P_{c0}^n = A / r_0^2$. К.п.д. антенно-фидерного устройства системы принят равным единице.

Подставив (13) в (12), будем иметь

$$Q^n = \frac{FT}{\ln 2} \int_{\bar{r}_1}^{\bar{r}_2} \ln \left[1 + \frac{a_0^n \mu}{(\bar{r})^2} \right] d\bar{r}, \quad (14)$$

где $a_0^n = P_{c0}^n / P_{\text{ш0}}$ – величина, характеризующая начальный уровень ОСШ. P_{c0}^n , в частности, может обозначать пороговую мощность приемника. Время существования сигнала на входе приемника определим как

$$\tau = \frac{r_0 - R}{v},$$

где R – промах, т. е. то наибольшее допустимое расстояние от цели, в пределах которого должно обязательно произойти срабатывание некоторого исполнительного устройства. Поскольку на практике $R \ll r_0$, можно считать, что $\tau \approx T$ ($\bar{r}_1 \approx 0$, $\bar{r}_2 = 1$), т.е. согласно (14) получим

$$Q^n = \frac{FT}{\ln 2} \int_0^1 \ln \left[1 + \frac{a_0^n \mu}{(\bar{r})^2} \right] d\bar{r}. \quad (15)$$

Интервал времени T зависит от ОСШ, и эту зависимость необходимо учесть при оценке Q . Воспользовавшись выражениями (11) и (13), будем иметь

$$T = \frac{r_0}{v} = \frac{1}{v} \sqrt{\frac{A}{P_{c0}}} = \frac{1}{v} \sqrt{\frac{A}{P_{ш0}}} \frac{1}{\sqrt{a_0^n}},$$

а из (15) соответственно

$$Q^n = \frac{F}{v \ln 2} \sqrt{\frac{A}{P_{ш0}}} \frac{\Phi^n(a_0^n, \mu)}{\sqrt{a_0^n}}. \quad (16)$$

где

$$\Phi^n(a_0^n, \mu) = \int_0^1 \ln \left[1 + \frac{a_0^n \mu}{(\bar{r})^2} \right] d\bar{r} = \ln(1 + a_0^n \mu) + 2\sqrt{a_0^n \mu} \operatorname{arccctg} \sqrt{a_0^n \mu}.$$

Графики функции $\Phi^n(a_0^n, \mu) / \sqrt{a_0^n}$ при значениях μ от 0,5 до 4,0 представлены на рис. 3. Видно, что наибольший выигрыш по воспринимаемому количеству информации имеет место при малых отношениях «сигнал/шум», причем можно показать, что

$$\lim_{a_0^n \rightarrow 0} \frac{\Phi^n(a_0^n, \mu)}{\sqrt{a_0^n}} = \pi \sqrt{\mu}.$$

Таким образом, максимальное количество информации будет равно

$$Q_{\max}^n = \frac{F\pi}{v \ln 2} \sqrt{\frac{A\mu}{P_{ш0}}}.$$

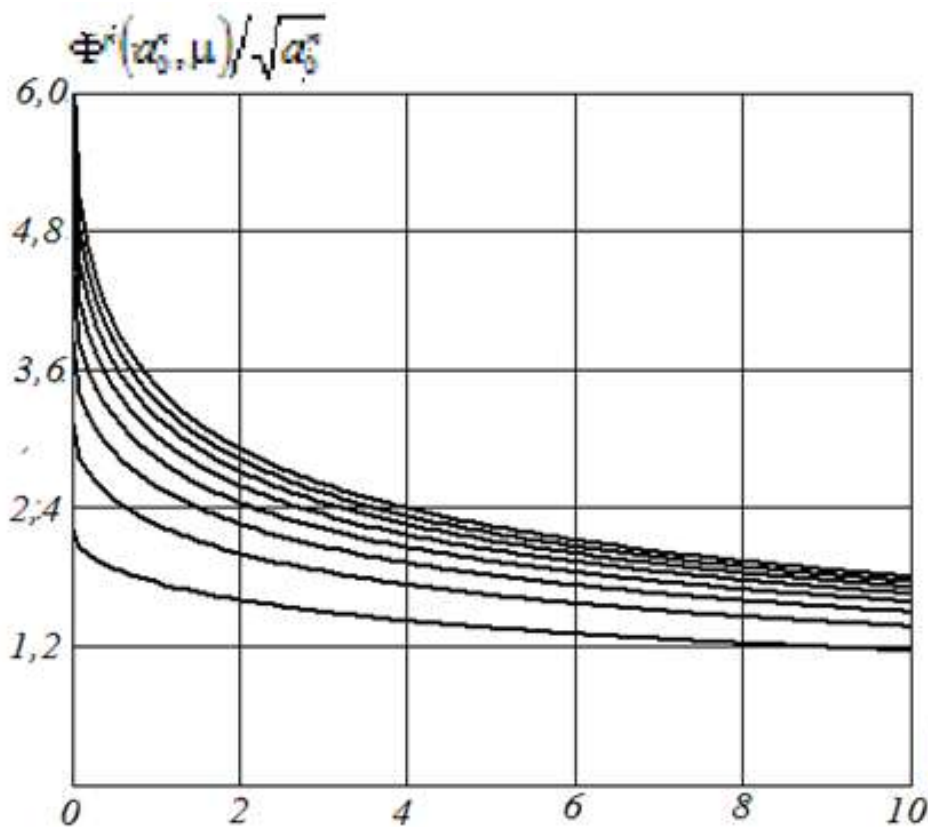


Рис. 3

Подставив в полученную формулу выражения для μ , $P_{ш0}$ и A , получим окончательно

$$Q_{\max}^n = \frac{1}{4\pi \ln 2} \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{P_2 G_1 S_1}{S_{ш0} f_0 I(N)}} F = \frac{0,115}{\nu} \sqrt{\frac{P_2 G_1 S_1}{S_{ш0} f_0 I(N)}} F. \quad (17)$$

При достаточно большой полосе пропускания частот системы принять функцию $I(N)$ равной ее предельному значению, т.е.

$$Q_{\max}^n = \frac{1}{4\pi \ln 2} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{P_2 G_1 S_1 \varepsilon}{S_{ш0} f_0}} F = \frac{0,092}{\nu} \sqrt{\frac{P_2 G_1 S_1 \varepsilon}{S_{ш0} f_0}} F. \quad (18)$$

Для белого шума ($\mu = 1$)

$$Q_{\max}^n = \frac{\pi F}{\nu \ln 2} \sqrt{\frac{A}{P_{ш0}}} = \frac{1}{4 \ln 2} \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{P_2 G_1 S_1}{S_{ш0}}} \sqrt{F} = \frac{0,36}{\nu} \sqrt{\frac{P_2 G_1 S_1}{S_{ш0}}} \sqrt{F}$$

В работе [11] приводится следующее выражение для наибольшего количества информации от удаляющегося источника (в наших обозначениях)

$$Q_{\text{д}} = \frac{1}{8\pi \ln 2} \frac{P_2 G_1 S_1}{S_{ш0} \nu l_0}, \quad (19)$$

где l_0 – минимальное расстояние до источника, а полоса пропускания считается бесконечно большой. Формула (18) получена для произвольной полосы пропускания и $l_0 \rightarrow 0$. Из соотношения (17) следует, что при наличии трансформирующего устройства максимально возможное количество информации пропорционально полосе пропускания F ; кроме того, величина Q_{\max}^n может быть повышена за счет уменьшения собственной частоты f_0 колебаний механической части системы и увеличения коэффициента демпфирования ε . Кроме того, Q_{\max}^n зависит от полосы пропускания более сильно, чем в случае белого виброшума. Вместе с тем следует иметь в виду, что при достаточно широкой полосе уже начнут сказываться тепловые флуктуационные шумы, и зависимость $Q_{\max}^n(F)$ будет проявляться несколько слабее.

4.2. Активная РЛС

Мощность принимаемого сигнала в данном случае равна

$$P_c^a = \frac{P_1 G_1 G_2 S_1 S_0}{(4\pi)^2 r^4} = \frac{P_1 G_1 G_2 S_1 S_0}{(4\pi)^2 r_0^4} \cdot \frac{1}{(\bar{r})^4} = \frac{B}{r_0^4 (\bar{r})^4} = \frac{P_{c0}^a}{(\bar{r})^4}, \quad (20)$$

где P_1 – мощность передатчика; G_1 и G_2 – соответственно коэффициенты усиления приемной и передающей антенн; S_1 – эффективная площадь приемной антенны; S_0 – эффективная площадь рассеяния объекта. Как и выше, принимаем к.п.д. антенно-фидерных линий передатчика и приемника системы равными единице.

Определим отношение «сигнал/шум»:

$$\frac{P_c^a}{P_{\text{ш0}}^a} = \frac{P_{\text{с0}}^a}{P_{\text{ш0}}^a (\bar{r})^4} = \frac{B}{P_{\text{ш0}} r_0^4 (\bar{r})^4} = \frac{a_0^a}{(\bar{r})^4},$$

т.е.

$$r_0 = \sqrt[4]{\frac{B}{P_{\text{ш0}} a_0^a}}; \quad T = \frac{r_0}{v} = \frac{1}{v} \sqrt[4]{\frac{B}{P_{\text{ш0}}}} \frac{1}{\sqrt[4]{a_0^a}}.$$

Воспользовавшись (12) и (20), получим:

$$Q^a = \frac{F}{v \ln 2} \sqrt[4]{\frac{B}{P_{\text{ш0}}}} \frac{\Phi^a(a_0^a, \mu)}{\sqrt[4]{a_0^a}},$$

где

$$\Phi^a(a_0^a, \mu) = \int_0^1 \ln \left[1 + \frac{a_0^a \mu}{(\bar{r})^4} \right] d\bar{r}.$$

Соответственно,

$$\frac{\Phi^a(a_0^a, \mu)}{\sqrt[4]{a_0^a}} = \frac{\sqrt[4]{\mu}}{\sqrt{2}} \left[\frac{\ln(1 + 4\gamma^4)}{\gamma} + \ln \frac{1 + 2\gamma + \gamma^2}{1 - 2\gamma + \gamma^2} + 2 \left(\operatorname{arctg} \frac{1 + \gamma}{\gamma} + \operatorname{arctg} \frac{1 - \gamma}{\gamma} \right) \right],$$

где $\gamma = \sqrt{\sqrt{a_0^a \mu} / 2}$.

Графики этой зависимости при тех же значениях μ , что и на рис. 2, представлены на рис. 4.

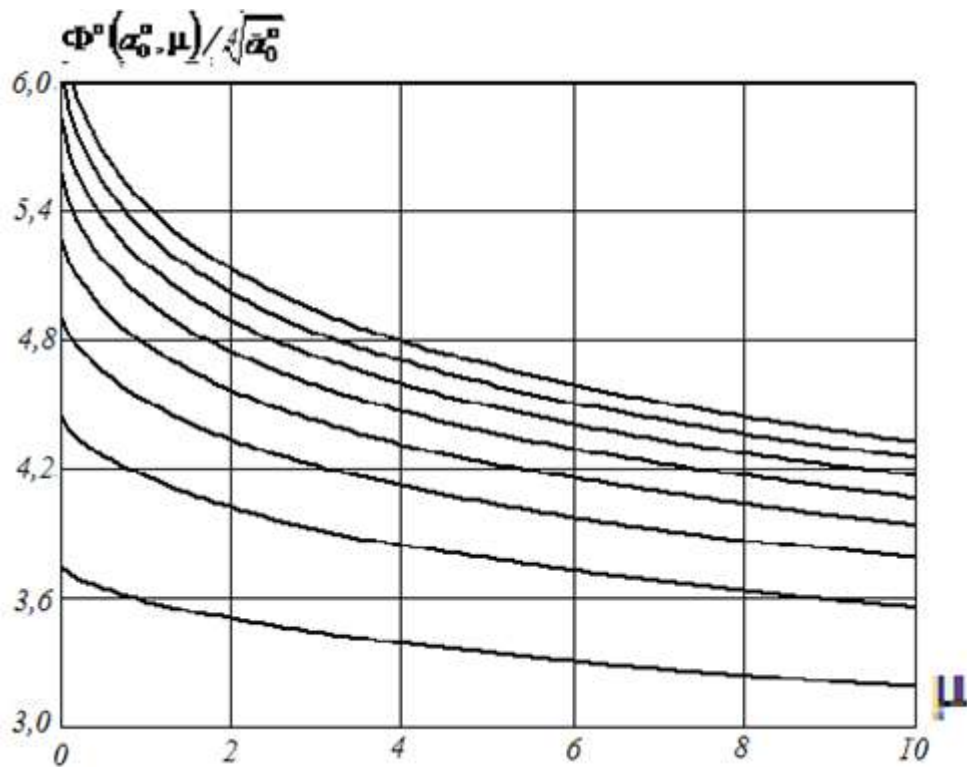


Рис. 4

Максимум количества информации будем иметь при $a_0^n \rightarrow 0$ (как и в случае пассивных систем):

$$\lim_{a_0^n \rightarrow 0} \frac{\Phi^a(a_0^n, \mu)}{\sqrt[4]{a_0^n}} = \pi\sqrt{2\sqrt{\mu}}$$

Следовательно,

$$Q_{\max}^a = \frac{\sqrt{2\sqrt{4\pi}}}{4\ln 2} \frac{1}{v} \sqrt[4]{\frac{P_1 G_1 S_1 S_0}{S_{\text{ш}0} f_0 I(N)}} F = \frac{0,96}{v} \sqrt[4]{\frac{P_1 G_1 S_1 S_0}{S_{\text{ш}0} f_0 I(N)}} F$$

Наконец, при достаточно широкой полосе пропускания, как сказано выше, можно принять $I(N) = \pi/(2\varepsilon)$ и, соответственно,

$$Q_{\max}^a = \frac{1}{\ln 2 \cdot \sqrt{2\sqrt{2}}} \frac{1}{v} \sqrt[4]{\frac{P_1 G_1 S_1 S_0 \varepsilon}{S_{\text{ш}0} f_0}} F = \frac{0,86}{v} \sqrt[4]{\frac{P_1 G_1 S_1 S_0 \varepsilon}{S_{\text{ш}0} f_0}} F$$

Заключение

Предложен количественный критерий виброустойчивости радиоканала в виде относительной пропускной способности. Этот показатель может быть повышен (по сравнению с белым виброшумом) путем соответствующего перераспределения спектральной плотности мощности шума. Данная задача решается за счет включения в конструкцию радиоканала трансформирующего устройства и выбора соответствующих его параметров (резонансная частота и коэффициент демпфирования). На основе данного подхода можно обосновать определение наибольшего количества информации, воспринимаемой РЛС пассивного и активного типа от движущегося объекта.

Список литературы

1. Карпушин В.Б. Виброшумы радиоаппаратуры. М.: Сов. радио, 1977. 318 с.
2. Ильинский В.С. Защита РЭА и прецизионного оборудования от динамических воздействий. М.: Радио и связь, 1982. 295 с.
3. Cover Th.M., Thomas J.A. Elements of information theory. 2nd ed. Hoboken: Wiley-Interscience, 2006. 748 p.
4. Кудряшов Б.Д. Теория информации учеб. пособие. М.; СПб: Питер, 2009. 314 с.
5. Коган И.М. Прикладная теория информации. М.: Радио и связь, 1981. 216 с.
6. Коган И.М. Ближняя радиолокация (Теоретические основы). М.: Сов. радио, 1973. 272 с.
7. Соболева Н.С. Теория эффективности автономных информационных и управляющих систем (АИУС) // Автономные информационные и управляющие системы. В 4 т. / Под ред. А.Б. Борзова. Т. 1. М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО НИЦ «Онико-М», 2011. С. 409-465.
8. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник. 10-е изд. М.: Высш. школа, 2006. 575 с.

9. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний: учебник. М.: Высш. школа, 1980. 408 с.
10. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. 4-е изд. М.: Физматлит, 1962. 1100 с.
11. Сифоров В.И. О наибольшем количестве информации от удаляющегося источника // Известия АН СССР. Сер. Техническая кибернетика. 1963. № 4. С. 80-83.
12. Бакулев П.А. Радиолокационные системы: учебник для вузов. М.: Радиотехника, 2004. 319 с.

An Information Criterion of Radio Electronic Equipment Vibration Stability

A.K. Efremov^{1,*}, N.S. Soboleva¹

^{*}efrak@mail.ru

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: radio electronic equipment; vibration stability; channel capacity; signal/noise ratio; vibration trans-formation; amount of information; moving location object

When external interference and internal noises are available, the on-board radio electronic equipment (REE) must remain operative, processing a large amount of information during a limited period of time. A parasitic component (vibration noise) in the structure of the output signal emerging because of dynamic mechanical excitation arises a problem to ensure the REE vibration stability. The paper makes an attempt to estimate it using a non-conventional approach – from the point of view of the applied information theory through the well-known C. Shannon formula. This approach is relevant because in functioning technical systems a process of receiving and processing information occurs, which is followed by appropriate executive decision, and, therefore, when solving the engineering tasks, such universal concepts as entropy, amount of information, capacity, etc. are applicable. As a quantitative criterion for the vibration stability of the radio system, it is proposed to use the relative channel capacity, which depends on the spectral power density of the vibration noise and the bandwidth of the system. A target redistribution of the spectral power density of the vibration noise due to its transformation when passing through the system allows an increase of this parameter, i.e. gain in capacity. External vibration is treated as a limited bandwidth white noise. As an example, the case is considered when the structure of the radio channel is approximately represented as an oscillatory system with one degree of freedom. The constraint imposed on the signal-to-noise ratio is taken into account. The paper formulates conditions which, when satisfied, provide a gain in capacity, which enables to select specific parameters of the isolation system from vibration (characteristic frequency of natural oscillations and damping coefficient). Analytic expressions are obtained for the greatest amount of information perceived by active and passive type radar systems.

References

1. Karpushin V.B. *Vibroshumy radioapparatury* [Vibration noise in radio hardware]. Moscow: Sovetskoe Radio Publ., 1977. 318 p. (in Russian).

2. Il'inskij V.S. *Zashchita REA i pretsizionnogo oborudovaniia ot dinamicheskikh vozdeystvii* [Isolation of radioelectronic hardware and precision equipment from dynamic loads]. Moscow: Radio i Sviaz' Publ., 1982. 295 p. (in Russian).
3. Cover Th.M., Thomas J.A. Elements of information theory. 2nd ed. Hoboken: Wiley-Interscience, 2006. 748 p.
4. Kudriashov B.D. *Teoriia informatsii* [Information theory]: a textbook. Moscow; S.-Petersburg: Piter Publ., 2009. 314 p. (in Russian).
5. Kogan I.M. *Prikladnaia teoriia informatsii* [Applied information theory]. Moscow: Radio i Sviaz' Publ., 1981. 216 p. (in Russian).
6. Kogan I.M. *Blizhniaia radiolokatsiia (Teoreticheskie osnovy)* [Near-field radio location (Theory basics)]. Moscow: Sovetskoe Radio Publ., 1973. 272 p. (in Russian).
7. Soboleva N.S. *Teoriia effektivnosti avtonomnykh informatsionnykh i upravliayushchikh sistem* [Theory of autonomous information and control systems efficiency]. *Avtonomnye informatsionnye i upravliayushchie sistemy* [Autonomous information and control systems]. In 4 vol. / Ed. by A.B. Borzov. Vol. 1. Moscow: OOO NITS "Inzhener", OOO NITS "Oniko-M", 2011. Pp. 409-465 (in Russian).
8. Venttsel' E.S. *Teoriia veroiatnostej* [Theory of probabilities]: a textbook. 10th ed. Moscow: Vysshaia Shkola Publ., 2006. 575 p. (in Russian).
9. Biderman V.L. *Teoriia mekhanicheskikh kolebanij* [Theory of mechanical oscillations]: a textbook. Moscow: Vysshaia Shkola Publ., 1980. 408 p. (in Russian).
10. Gradshtejn I.S., Ryzhik I.M. *Tablitsy integralov, summ, riadov i proizvedenij* [Tables of integrals, sums, series and products]. 4th ed. Moscow: Fizmatlit Publ., 1962. 1100 p. (in Russian).
11. Siforov V.I. About the maximum quantity of information from the withdrawing source. *Izvestiia of the USSR Acad. of Sciences. Ser. Tekhnicheskaja kibernetika* [Engineering Cybernetics], 1963, no. 4, pp. 80-83 (in Russian).
12. Bakulev P.A. *Radiolokatsionnye sistemy* [Radar systems]: a textbook. Moscow: Radiotekhnika Publ., 2004. 319 p. (in Russian).